

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Συγκριτική μελέτη για τα ευφυή δίκτυα σε
Ευρώπη, Αμερική και Ασία

Comparative study on smart grids in
Europe, America and Asia

Αναστάσιος Χ. Ανδρονικίδης

e-mail: anaandro@uth.gr

Επιβλέπουσα: κ. Χούστη Αικατερίνη

Δεύτερο Μέλος: κ. Σταμούλης Γεώργιος

Τρίτο Μέλος: κ. Μποζάνης Παναγιώτης

Βόλος, Νοέμβριος 2013

(Αυτή η σελίδα είναι εσκεμμένα κενή)

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	6
----------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Ιστορική εξέλιξη του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.....	7
1.2 Ευκαιρίες Εκσυγχρονισμού.....	8
1.3 Προέλευση του όρου «ευφρές δίκτυο».....	9
1.4 Πρώιμες τεχνολογικές καινοτομίες.....	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου.....	11
2.1 Αξιοπιστία.....	11
2.2 Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου.....	11
2.3 Αποδοτικότητα.....	11
2.3.1 Προσαρμογή του φορτίου.....	12
2.3.2 Τιμολόγηση χρήσης.....	12
2.4 Βιωσιμότητα.....	13
2.5 Αγορά.....	13
2.5.1 Προσφορά-ζήτηση.....	13
2.5.2 Πλατφόρμα για προηγμένες υπηρεσίες.....	14
2.5.3 Ενέργεια: Παροχή με Megabits, Έλεγχος με Kilobits.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Τεχνολογία.....	15
3.1 Ενσωματωτημένα Επικοινωνία.....	15
3.2 Ανίχνευση και μέτρηση.....	15
3.3 Έξυπνοι μετρητές.....	15

3.4 Μονάδες Μέτρησης.....	15
3.5 Προηγμένα συστατικά.....	16
3.6 Ευκαιρίες Εκσυγχρονισμού.....	16
3.7 Βελτιωμένες διεπαφές και υποστήριξη αποφάσεων.....	16
3.8 Έξυπνη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Έρευνα.....	18
4.1 Σημαντικά προγράμματα.....	18
4.2 Smart grid modelling.....	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 Οικονομικά.....	22
5.1 Προοπτικές της αγοράς.....	22
5.2 Γενική Διεύθυνση Οικονομικών εξελίξεων.....	22
5.2.1 ΗΠΑ και Βρετανία: Εξοικονόμηση και Ανησυχίες.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 Ενστάσεις και Ανησυχίες.....	24
6.1 Ασφάλεια.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 Άλλες προκλήσεις.....	26
7.1 Κλοπή ρεύματος - Απώλεια ισχύος.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 Υλοποιήσεις και απόπειρες Υλοποιήσεων.....	27
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9 Τα έξυπνα δίκτυα ανά χώρα.....	29
----------------------------------	----

9.1 Ευρώπη: Αυστρία.....	29
9.1.1 Η κατάσταση στην Αυστρία.....	29
9.2 Αμερική: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	29
9.2.1 Πολιτική σχετικά με τα ευφυή δίκτυα.....	30
9.3 Ασία: Νότια Κορέα.....	30
9.3.1 Τα έξυπνα δίκτυα στη Νότια Κορέα.....	30
Παράρτημα – Εικόνες.....	32
Αναφορές.....	35

Πρόλογος

Ένα «έξυπνο δίκτυο» είναι ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί την τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συγκεντρώσει και να ενεργεί σε πληροφορίες, όπως πληροφορίες σχετικά με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών, με αυτοματοποιημένο τρόπο για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πολιτική έξυπνου δικτύου οργανώνεται στην Ευρώπη, όπως περιγράφεται στην Smart Grid Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας. Η Πολιτική στις Ηνωμένες Πολιτείες περιγράφεται στο 42 USC ch. 152, subch. IX.

Το «ξέσπασμα» της τεχνολογίας έξυπνου δικτύου συνεπάγεται επίσης μια θεμελιώδη αναδιοργάνωση των υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας της βιομηχανίας, αν και τυπική η χρήση του όρου έχει επικεντρωθεί στην τεχνική υποδομή.

1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορική εξέλιξη του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Το δίκτυο ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος όπως είναι σήμερα, εξελίχθηκε μετά το 1896. Εκείνη την εποχή, το δίκτυο σχεδιάστηκε ως ένα κεντρικό κατευθυντικό σύστημα μετάδοσης ηλεκτρικού ρεύματος, διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, και ελέγχου της ζήτησης.

Κατά τον 20ο αιώνα, τα δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχονται από τα τοπικά δίκτυα που μεγάλωσαν με την πάροδο του χρόνου, και τελικά διασυνδέονται για οικονομικούς λόγους και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Από τη δεκαετία του 1960, τα ηλεκτρικά δίκτυα των ανεπτυγμένων χωρών έχουν γίνει πολύ μεγάλα, ώριμα και εξαιρετικά διασυνδεδεμένα, με χιλιάδες «κεντρικούς» σταθμούς παραγωγής και παροχής ρεύματος σε μεγάλα κέντρα φορτίου μέσω των ηλεκτρικών γραμμών υψηλής χωρητικότητας τα οποία στη συνέχεια επεκτείνονται και διαιρούνται για την παροχή ρεύματος μικρότερων βιομηχανικών και οικιακών χρηστών σε ολόκληρη την περιοχή που εξυπηρετούν. Η τοπολογία του δικτύου της δεκαετίας του 1960 ήταν αποτέλεσμα των ισχυρών οικονομικών κλίμακας της σημερινής γενιάς τεχνολογίας: μεγάλοι σταθμοί άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου εξακολουθούν να είναι οικονομικά αποδοτικοί.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται στρατηγικά κοντά σε αποθέματα ορυκτών καυσίμων (είτε τα ορυχεία τους, είτε κοντά στις σιδηροδρομικές, οδικές και λιμενικές γραμμές τροφοδοσίας). Η χωροθέτηση των υδροηλεκτρικών φραγμάτων στις ορεινές περιοχές επίσης επηρεάζει έντονα τη δομή του αναδυόμενου δικτύου. Πυρηνικοί σταθμοί υπάρχουν για τη διαθεσιμότητα του νερού ψύξης. Τέλος, τα ορυκτά καύσιμα στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αρχικά πολύ ρυπογόνα και βρίσκονταν στο μέτρο του δυνατού οικονομικά από τα πληθυσμιακά κέντρα εφ' όσον τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας το επέτρεπαν. Μέχρι τα τέλη του 1960, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έφθασε τη συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού των ανεπτυγμένων χωρών, με μόνο απομακρυσμένες περιφερειακές περιοχές να παραμένουν «εκτός δικτύου».

Η μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αναγκαία σε μια ανά χρήση βάση, ώστε να καταστεί δυνατή η κατάλληλη τιμολόγηση σύμφωνα με το (εξαιρετικά μεταβλητό) επίπεδο κατανάλωσης των διαφορετικών χρηστών. Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του δικτύου, καθεστώς σταθερής τιμολόγησης είχε τεθεί σε εφαρμογή, καθώς και δασμολογικές ρυθμίσεις, όπου το νυχτερινό ρεύμα χρεώνεται με χαμηλότερη τιμή από το ρεύμα που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το κίνητρο για τη διπλή δασμολογική ρύθμιση ήταν η μικρότερη ζήτηση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η διπλή τιμολόγηση που κατέστη δυνατή με τη χρήση του χαμηλού κόστους (κατά τις νυκτερινές ώρες) ηλεκτρικής ενέργειας σε εφαρμογές, όπως η διατήρηση της «θερμότητας», η οποία χρησιμοποιήθηκε για να «εξομαλύνει» την ημερήσια ζήτηση, και να μειώσει τον αριθμό των ανεμογεννητριών που έπρεπε να απενεργοποιηθούν την νύχτα, βελτιώνοντας έτσι την αξιοποίηση και την κερδοφορία των εγκαταστάσεων παραγωγής και μεταφοράς. Οι δυνατότητες μέτρησης του

δικτύου το 1960, σήμαινε τους τεχνολογικούς περιορισμούς σχετικά με το βαθμό στον οποίο τα σήματα τιμών θα μπορούσαν να διαδοθούν μέσω του συστήματος.

Από τη δεκαετία του 1970 στη δεκαετία του 1990, η αυξανόμενη ζήτηση οδήγησε σε αύξηση του αριθμού των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιοχές, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ιδίως κατά τις ώρες αιχμής, δεν θα μπορούσε να συμβαδίσει με τη ζήτηση, με αποτέλεσμα την κακή ποιότητα ρεύματος, συμπεριλαμβανομένων διακοπών ρεύματος. Όλο και περισσότερο, εξαρτώνται από την ηλεκτρική ενέργεια η βιομηχανία, η θέρμανση, η επικοινωνία, ο φωτισμός, και η ψυχαγωγία, και οι καταναλωτές απαιτούν ακόμη υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας.

Προς το τέλος του 20ου αιώνα, καθιερώθηκαν πρότυπα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας: η οικιακή θέρμανση και το air-condition οδήγησαν σε καθημερινές αιχμές της ζήτησης, που συναντήθηκαν με «κορύφωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας», που θα μπορούσε μόνο να ενεργοποιηθεί για μικρό χρονικό διάστημα κάθε μέρα. Το σχετικά χαμηλό ποσοστό χρησιμοποίησης αυτών των γεννητριών κορύφωσης (κοινώς, αεριοστρόβιλοι που χρησιμοποιήθηκαν λόγω του σχετικά χαμηλότερου κόστους κεφαλαίου τους και της ταχύτερης εκκίνησης), μαζί με την ανάγκη εφεδρείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, είχε ως αποτέλεσμα το υψηλό κόστος για τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μεταφερόταν στα αυξημένα τιμολόγια.

1.2 Ευκαιρίες Εκσυγχρονισμού

Από τις αρχές του 21ου αιώνα, οι ευκαιρίες για να επωφεληθούμε από τις βελτιώσεις στην τεχνολογία ηλεκτρονικών επικοινωνιών για την επίλυση των περιορισμών και το κόστος του ηλεκτρικού δικτύου έχουν γίνει εμφανείς. Τεχνολογικοί περιορισμοί σχετικά με τη μέτρηση δεν υπάρχουν, ώστε να περάσει ο μέσος όρος τιμολόγησης σε όλους τους καταναλωτές εξίσου. Παράλληλα, αυξανόμενες ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές ζημιές από τα ορυκτούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν οδηγήσει σε μια επιθυμία να χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κυρίαρχες μορφές, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι εξαιρετικά μεταβλητές, και έτσι η ανάγκη για πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου έγινε εμφανής, για να διευκολυνθεί η σύνδεση των πηγών στο κατά τα άλλα εξαιρετικά ελεγχόμενο δίκτυο. Ισχύς από φωτοβολταϊκά κύτταρα (και σε μικρότερο βαθμό, ανεμογεννήτριες) τίθεται, επίσης, υπό αμφισβήτηση από την επιτακτική ανάγκη για μεγάλους, κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ραγδαία μείωση του κόστους δείχνει μια σημαντική αλλαγή από την κεντρική τοπολογία του δικτύου σε ένα μεγάλο βαθμού κατανεμημένο δίκτυο. Τέλος, η αυξανόμενη ανησυχία για τρομοκρατική επίθεση σε ορισμένες χώρες έχει οδηγήσει σε εκκλήσεις για ένα πιο ισχυρό δίκτυο ενέργειας που είναι λιγότερο εξαρτημένο από κεντρικούς σταθμούς που θεωρούνται ότι είναι οι πιο πιθανοί στόχοι επίθεσης.

1.3 Προέλευση του όρου «ευφυές δίκτυο»

Ο όρος έξυπνο ή ευφυές δίκτυο είναι σε χρήση τουλάχιστον από το 2005, όταν εμφανίστηκε στο άρθρο "Toward A Smart Grid" από τους Amin και Wollenberg. Ο όρος είχε χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν και χρονολογείται περίπου το 1998. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί του έξυπνου δικτύου, κάποιοι λειτουργικοί, κάποιοι τεχνολογικοί, και κάποιοι προσανατολισμένοι στα οφέλη. Ένα κοινό στοιχείο για τους περισσότερους ορισμούς είναι η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας και της επικοινωνίας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας έτσι την ροή των δεδομένων και τη διαχείριση των πληροφοριών, κεντρικά σημεία για το έξυπνο δίκτυο. Αποτελέσματα διαφόρων δυνατοτήτων από την ενταγμένη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας σε δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, και την ενσωμάτωση των νέων ροών πληροφοριών δικτύου στις διαδικασίες και τα συστήματα κοινής ωφελείας είναι ένα από τα βασικά θέματα στο σχεδιασμό των ευφύων δικτύων. Εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάνουν τώρα τριών κατηγοριών μετασχηματισμούς: α) βελτίωση των υποδομών, το οποίο ονομάζεται ισχυρό δίκτυο στην Κίνα, β) προσθήκη του ψηφιακού στρώματος, το οποίο είναι η ουσία του έξυπνου δικτύου, γ) μετασχηματισμό της επιχειρηματικής διαδικασίας, για να επωφεληθούν από τις επενδύσεις σε έξυπνη τεχνολογία. Μεγάλο μέρος των εργασιών εκσυγχρονισμού, αφορά τον ηλεκτρικό εκσυγχρονισμό του δικτύου, ιδιαίτερα την αυτοματοποίηση των υποσταθμών και της διανομής, που περιλαμβάνεται πλέον στη γενική έννοια του έξυπνου δικτύου, αλλά εξελίσσονται επίσης επιπλέον δυνατότητες.

1.4 Πρώιμες τεχνολογικές καινοτομίες

Έξυπνες τεχνολογίες δικτύου έχουν προκύψει από προηγούμενες προσπάθειες για χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου, ηλεκτρονικής μέτρησης και παρακολούθησης. Στη δεκαετία του 1980, η αυτόματη ανάγνωση μετρητών χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των φορτίων από τους μεγάλους πελάτες, και εξελίχθηκε σε υποδομή προηγμένης μέτρησης τη δεκαετία του 1990, των οποίων η μέτρηση θα μπορούσε να αποθηκεύσει πόση ηλεκτρική ενέργεια είχε χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Έξυπνοι μετρητές προσθέτουν συνεχή επικοινωνίας έτσι ώστε η παρακολούθηση να μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια πύλη αιτήματος απάντησης, όπως και «έξυπνες πρίζες» στο σπίτι. Πρώιμες μορφές αυτών των τεχνολογιών διαχείρισης της ζήτησης ήταν δυναμικής απαίτησης συσκευές που καταλαβαίνουν το φορτίο στο δίκτυο με την παρακολούθηση των μεταβολών στη συχνότητα τροφοδοσίας. Συσκευές όπως τα βιομηχανικά και οικιακά κλιματιστικά, τα ψυγεία και τα καλοριφέρ προσαρμόζουν τον κύκλο εργασιών τους για την αποφυγή ενεργοποίησης όταν το δίκτυο βρίσκεται σε κατάσταση κορύφωσης. Ξεκινώντας το 2000, το "Telegestore Project" της Ιταλίας ήταν το πρώτο σε μεγάλο μέγεθος δίκτυο, (27 εκατ.) σπίτια χρησιμοποίησαν τέτοιους έξυπνους μετρητές που συνδέονταν μέσω χαμηλής ισχύος γραμμή επικοινωνίας. Πρόσφατα έργα χρησιμοποιούν Broadband γραμμή ισχύος, τεχνολογίας επικοινωνιών (BPL), ή ασύρματα όπως η δικτύωση πλέγματος που υποστηρίζεται ότι παρέχει πιο αξιόπιστες συνδέσεις σε διάφορες συσκευές στο σπίτι, καθώς και την υποστήριξη της μέτρησης άλλων επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, όπως του φυσικού αερίου και του νερού.

Η παρακολούθηση και ο συγχρονισμός των δικτύων ευρείας περιοχής ήταν επανάσταση στις αρχές του 1990, όταν η Διοίκηση Ενέργειας Bonneville επέκτεινε την έρευνα του έξυπνου δικτύου με πρωτότυπο αισθητήρων που είναι σε θέση για πολύ γρήγορη ανάλυση των ανωμαλιών στην ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας σε πολύ μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Η αποκορύφωση αυτής της εργασίας ήταν το πρώτο λειτουργικό σύστημα μέτρησης ευρείας περιοχής (wams) το 2000. Άλλη χώρα στην ταχεία ενοποίηση αυτής της τεχνολογίας, είναι η Κίνα. Θα έχει ένα ολοκληρωμένο εθνικό σύστημα wams όταν το τωρινό 5ετές οικονομικό σχέδιο της ολοκληρωθεί.

Οι πρώτες υλοποιήσεις των έξυπνων δικτύων περιλαμβάνουν το ιταλικό Telegestore σύστημα (2005), το δίκτυο πλέγματος του Austin, Τέξας (από το 2003), και το έξυπνο δίκτυο στο Boulder του Κολοράντο (2008). Υλοποιήσεις και απόπειρες υλοποιήσεων αναφέρονται παρακάτω.

2 Χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου

Το έξυπνο δίκτυο εκπροσωπεί την πλήρη σουίτα των υφιστάμενων και των προτεινόμενων απαντήσεων στις προκλήσεις της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του ευρύ φάσματος των παραγόντων, υπάρχουν πολλές ταξινομήσεις ανταγωνιστικές και δεν υπάρχει συμφωνία επί ενός καθολικού ορισμού. Παρ' όλα αυτά, δίνεται μία κατηγοριοποίηση.

2.1 Αξιοπιστία

Το έξυπνο δίκτυο θα κάνει χρήση των τεχνολογιών που επιτρέπουν την ανίχνευση βλάβης και την αυτο-ίαση του δικτύου χωρίς την παρέμβαση των τεχνικών. Αυτό θα εξασφαλίσει πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μείωση της ευπάθειας σε φυσικές καταστροφές ή επιθέσεις.

Παρά το γεγονός ότι οι πολλαπλές διαδρομές είναι ένα χαρακτηριστικό του έξυπνου δικτύου, επίσης και το παλιό δίκτυο το χαρακτήριζαν πολλές διαδρομές. Οι αρχικές γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο χτίστηκαν με ένα ακτινικό μοντέλο, αργότερα η συνδεσιμότητα που εγγυάται μέσω πολλαπλών διαδρομών, και αναφέρεται ως δομή του δικτύου. Ωστόσο, αυτό δημιούργησε ένα νέο πρόβλημα: εάν η ροή του ρεύματος ή οι σχετικές επιπτώσεις σε όλο το δίκτυο υπερβαίνουν τα όρια του κάθε συγκεκριμένου στοιχείου του δικτύου, θα μπορούσε να αποτύχει, και το ρεύμα θα πρέπει να παραπέμπεται σε άλλα στοιχεία του δικτύου, τα οποία τελικά μπορεί να αποτύχουν, προκαλώντας το φαινόμενο του ντόμινο. Μια τεχνική για να αποφευχθεί αυτό είναι η απόρριψη φορτίου με μείωση της τάσης.

2.2 Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου

Υποδομές μεταφοράς και διανομής επόμενης γενιάς θα είναι καλύτερα να χειριστούν την πιθανότητα αμφίπλευρων βιώσιμων ενεργειακών ροών, επιτρέποντας την κατανεμημένη παραγωγή: όπως από φωτοβολταϊκά πάνελ στις στέγες κτιρίων, όπως επίσης η χρήση των κυψελών καυσίμου, η φόρτιση από τις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η αιολική στροβίλων, η άντληση υδροηλεκτρικής ενέργειας, και άλλες πηγές.

Κλασσικά πλέγματα έχουν σχεδιαστεί για μονόδρομη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά αν ένα τοπικό υπο-δίκτυο παράγει περισσότερη ισχύ από ό,τι καταναλώνει, η αντίστροφη ροή μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια και τα ζητήματα αξιοπιστίας. Ένα έξυπνο δίκτυο σκοπεύει στη διαχείριση αυτών των καταστάσεων.

2.3 Αποδοτικότητα

Πολυάριθμες συνεισφορές στη συνολική βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών υποδομών αναμένονται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ευφυών δικτύων, συμπεριλαμβανομένων ιδίως της διαχείρισης της ζήτησης, για παράδειγμα, η απενεργοποίηση κλιματιστικών κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμων αιχμών στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι λιγότερος πλεονασμός σε γραμμές μεταφοράς και διανομής, καθώς και αποδοτικότερη χρήση των γεννητριών, που οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές ενέργειας.

2.3.1 Προσαρμογή του φορτίου

Το συνολικό φορτίο που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαφέρει σημαντικά στην διάρκεια του χρόνου. Παρά το γεγονός ότι το συνολικό φορτίο είναι το άθροισμα των πολλών ατομικών επιλογών των πελατών, το συνολικό φορτίο δεν είναι σταθερό, αργά μεταβαλλόμενο, για παράδειγμα αν ένα δημοφιλές τηλεοπτικό πρόγραμμα ξεκινά και τα εκατομμύρια των τηλεοράσεων τραβούν ρεύμα αμέσως. Παραδοσιακά, για να ανταποκριθεί σε μια ταχεία αύξηση κατανάλωσης ενέργειας, ταχύτερα από το χρόνο εκκίνησης μιας μεγάλης γεννήτριας, κάποιες επιπλέον γεννήτριες έχουν τεθεί σε κατάσταση αναμονής. Ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να προειδοποιήσει όλες τις επιμέρους τηλεοράσεις, ή έναν άλλο μεγαλύτερο πελάτη, να μειώσει το φορτίο προσωρινά (για να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος για να ξεκινήσει μια μεγαλύτερη γεννήτρια) ή συνεχώς (στην περίπτωση των περιορισμένων πόρων). Χρησιμοποιώντας μαθηματικούς αλγορίθμους πρόβλεψης είναι πιθανόν να προβλέψει πόσες εφεδρικές γεννήτριες πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό αποτυχίας. Στο παραδοσιακό πλέγμα, το ποσοστό αποτυχίας μπορεί μόνο να μειωθεί με κόστος περισσότερων εφεδρικών γεννητριών. Σε ένα έξυπνο δίκτυο, η μείωση του φορτίου από ακόμη και ένα μικρό μέρος των πελατών μπορεί να εξαλείψει το πρόβλημα.

2.3.2 Τιμολόγηση χρήσης

Για τη μείωση της ζήτησης κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλού κόστους χρήσης, τεχνολογίες επικοινωνιών και μέτρησης ενημερώνουν έξυπνες συσκευές στο σπίτι και την επιχείρηση, όταν η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή και παρακολουθούν πόση ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται και τότε χρησιμοποιείται. Δίνει, επίσης, στις εταιρείες κοινής ωφελείας τη δυνατότητα να μειώσουν την κατανάλωση κατά την επικοινωνία με συσκευές άμεσα, προκειμένου να αποφευχθεί υπερφόρτωση του συστήματος. Παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι ένα βοηθητικό πρόγραμμα μείωσης της χρήσης στους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ή μετατόπιση σημείων ρύθμισης της θερμοκρασίας των κλιματιστικών σε μια πόλη. Για να τους παρακινήσει να περικόψουν την χρήση και να εκτελέσουν αυτό που ονομάζεται περικοπή κορύφωσης ή ισοπέδωση αιχμής, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένες κατά περιόδους υψηλής ζήτησης, και μειωμένες κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης. Θεωρείται ότι οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις θα έχουν την τάση να καταναλώνουν λιγότερο κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ζήτησης, αν είναι δυνατό για τους καταναλωτές και τις συσκευές των καταναλωτών να γνωρίζουν το υψηλό υπερτίμημα για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει κάνοντας συμβιβασμούς, όπως το επαναλαμβανόμενο on / off κλιματιστικά ή το πλύσιμο των πιάτων στις 21:00 αντί στις 17:00. Όταν οι επιχειρήσεις και οι καταναλωτές βλέπουν άμεσο οικονομικό όφελος από τη χρήση ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής, η θεωρία είναι ότι θα περιλαμβάνουν το ενεργειακό κόστος της λειτουργίας στη καταναλωτική συσκευή τους και η λήψη των αποφάσεων τους ως εκ τούτου, να γίνεται πιο ενεργειακά αποδοτική.

Σύμφωνα με τους υποστηρικτές των έξυπνων σχεδίων δικτύου, αυτό θα μειώσει την ποσότητα της εφεδρείας που η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να κρατήσει σε ετοιμότητα, όπως η καμπύλη φορτίου θα αυτοσταθμίζεται μέσω ενός συνδυασμού

«αόρατου χεριού» της ελεύθερης αγοράς και τον κεντρικό έλεγχο ενός μεγάλου αριθμού συσκευών μέσω των υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας.

2.4 Βιωσιμότητα

Η βελτιωμένη ευελιξία του έξυπνου δικτύου επιτρέπει μεγαλύτερη διείσδυση των εξαιρετικά μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια και η αιολική ενέργεια, ακόμη και χωρίς την προσθήκη της αποθήκευσης ενέργειας. Η υπάρχουσα υποδομή του δικτύου δεν είναι φτιαγμένη για να επιτρέπει ένα μεγάλο αριθμό καταναμεμημένων σημείων τροφοδοσίας, και συνήθως ακόμη και αν επιτρέπεται σε τοπικό επίπεδο, η μετάδοση σε επίπεδο υποδομών δεν είναι εφικτή. Η ταχείας διακυμάνση καταναμεμημένη παραγωγή, όπως λόγω θυελλώδους καιρού, παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις για τους μηχανικούς ενέργειας για την εξασφάλιση σταθερών επιπέδων ενέργειας μέσω της μεταβολής της εξόδου από τις ελεγχόμενες γεννήτριες όπως τουρμπίνες αερίου και υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Για αυτό τον λόγο, η έξυπνη τεχνολογία πλέγματος είναι μια απαραίτητη προϋπόθεση για πολύ μεγάλα ποσά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

2.5 Αγορά

Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει τη συστηματική επικοινωνία μεταξύ των προμηθευτών (τιμή ενέργειας) και των καταναλωτών (την προθυμία τους μέχρι την πληρωμή), και επιτρέπει τόσο οι προμηθευτές και οι καταναλωτές να είναι πιο ευέλικτοι στις επιχειρησιακές στρατηγικές τους. Μόνο τα κρίσιμα φορτία θα πρέπει να πληρώσουν τις υψηλές τιμές ενέργειας, και οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να είναι πιο στρατηγικοί όταν χρησιμοποιούν την ενέργεια. Γεννήτριες με μεγαλύτερη ευελιξία θα είναι σε θέση να πωλούν ενέργεια στρατηγικά για το μέγιστο κέρδος, ενώ οι μη-ευέλικτες γεννήτριες, όπως τουρμπίνες ατμού και ανεμογεννήτριες θα έχουν ένα διαφορετικό τιμολόγιο με βάση το επίπεδο της ζήτησης και την κατάσταση των άλλων γεννητριών που λειτουργούν. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι ένα σήμα για την ενεργειακή απόδοση και την ενεργειακή κατανάλωση που είναι ευαίσθητες στα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια της προσφοράς. Σε εγχώριο επίπεδο, συσκευές με βαθμό ενεργειακής αποθήκευσης ή θερμικής μάζας (όπως ψυγεία, καθώς και αντλίες θερμότητας) θα είναι σε θέση να «παίξουν» στην αγορά και επιχειρούν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος της ενέργειας με την προσαρμογή της ζήτησης στις περιόδους χαμηλού κόστους ενέργειας. Αυτό είναι μια επέκταση της διπλής δασμολογικής τιμολόγησης της ενέργειας που αναφέρθηκε παραπάνω.

2.5.1 Προσφορά-ζήτηση

Η στήριξη της ζήτησης-προσφοράς επιτρέπει στις γεννήτριες και τα φορτία να αλληλεπιδρούν με αυτοματοποιημένο τρόπο, σε πραγματικό χρόνο, για το συντονισμό της ζήτησης ώστε να ισοπεδώσουν ενδεχόμενες αιχμές. Η εξάλειψη του κλάσματος της ζήτησης που παρουσιάζεται σε αυτές τις αιχμές εξαλείφει το κόστος της προσθήκης γεννητριών αποθεματικών, μειώνει τη φθορά και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, και επιτρέπει στους χρήστες να μειώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας με τη χρήση συσκευών χαμηλής προτεραιότητας, να χρησιμοποιούν την ενέργεια μόνο όταν είναι φθηνότερη.

Επί του παρόντος, τα συστήματα ενέργειας του δικτύου έχουν διαφορετικό βαθμό επικοινωνίας εντός των συστημάτων ελέγχου, όπως στις μονάδες παραγωγής ενέργειας, γραμμές μεταφοράς των υποσταθμών και των μεγάλων καταναλωτών ενέργειας. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας προσπαθούν να ανταποκριθούν στη ζήτηση και να πετύχουν σε περίπτωση (βυθίσματος, συσκότισης, ή ανεξέλεγκτης διακοπής ρεύματος). Το συνολικό ποσό της ζήτησης ενέργειας από τους χρήστες μπορεί να έχει μια πολύ ευρεία κατανομή πιθανότητας που απαιτεί πλεόνασμα εργοστασίων παραγωγής σε κατάσταση αναμονής για να ανταποκριθεί στη ραγδαία μεταβαλλόμενη χρήση ενέργειας. Αυτή η μονόδρομη ροή των πληροφοριών είναι ακριβή, το τελευταίο 10% του δυναμικού παραγωγής μπορεί να απαιτείται μόλις το 1% του χρόνου, και βυθίσματα και διακοπές μπορεί να είναι δαπανηρά για τους καταναλωτές.

Το μέγεθος της ροής δεδομένων είναι ένα σημαντικό θέμα, με ορισμένες από τις πρώτες «έξυπνες» αρχιτεκτονικές να επιτρέπουν 24-ώρη καθυστέρηση στη λήψη των δεδομένων, αποτρέποντας οποιαδήποτε πιθανή αντίδραση είτε από τους προμηθευτές ή είτε από τους πελάτες.

2.5.2 Πλατφόρμα για προηγμένες υπηρεσίες

Όπως και με άλλες βιομηχανίες, η χρήση ισχυρής αμφίδρομης επικοινωνίας, προηγμένοι αισθητήρες και τεχνολογία κατανεμημένων υπολογιστών θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και την ασφάλεια της παροχής ενέργειας και τη χρήση. Ανοίγει επίσης τη δυνατότητα για νέες υπηρεσίες ή για τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων, όπως η παρακολούθηση της φωτιάς και συναγερμοί που μπορούν να διακόπτουν την παροχή ρεύματος, να πραγματοποιούνται τηλεφωνικές κλήσεις σε υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, κλπ.

2.5.3 Ενέργεια: Παροχή με Megabits, Έλεγχος με Kilobits

Η ποσότητα των δεδομένων που απαιτούνται για την εκτέλεση της παρακολούθησης και της μεταγωγής των συσκευών αυτόματα είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με ότι απαιτείται για υπηρεσίες φωνής, ασφάλειας, Internet και τηλεόρασης σε απομακρυσμένα σπίτια. Πολλές έξυπνες αναβαθμίσεις του δικτύου γίνονται για την υποστήριξη των υπηρεσιών των καταναλωτών, με επιδοτήσεις που αφορούν τις επικοινωνίες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν οι κυβερνήσεις έχουν το σύνολο των υπηρεσιών ως κρατικό μονοπώλιο. Επειδή οι εταιρείες ρεύματος και επικοινωνιών είναι γενικά ξεχωριστές εμπορικές επιχειρήσεις στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, γίνονται προσπάθειες της κυβέρνησης και των μεγάλων προμηθευτών να ενθαρρύνουν τις διάφορες επιχειρήσεις να συνεργαστούν. Μερικοί, όπως η Cisco, βλέπουν την ευκαιρία στην παροχή συσκευών στους καταναλωτές πολύ παρόμοια με αυτή που έχουν εδώ και καιρό, την παροχή στη βιομηχανία. Άλλοι, όπως τα δίκτυα για Silver Spring ή το Google, είναι «integrators» δεδομένων και όχι προμηθευτές εξοπλισμού. Ενώ τα AC πρότυπα ελέγχου ισχύος δείχνουν ότι η «powerline» δικτύωση θα είναι το κύριο μέσο επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων δικτύων και συσκευών στο σπίτι, τα κομμάτια πληροφορίας δεν μπορούν να φτάσουν το σπίτι μέσω του ευρυζωνικού ηλεκτρικού δικτύου (BPL) αρχικά, αλλά με σταθερά ασύρματα.

3 Τεχνολογία

Το μεγαλύτερο μέρος των έξυπνων τεχνολογιών πλέγματος έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές, όπως η κατασκευή των τηλεπικοινωνιών και είναι προσαρμοσμένο για χρήση στις λειτουργίες του δικτύου. Σε γενικές γραμμές, η έξυπνη τεχνολογία πλέγματος μπορεί να ομαδοποιηθεί σε οχτώ βασικούς τομείς:

3.1 Ενσωματωμένη Επικοινωνία

Μερικές επικοινωνίες είναι ενημερωμένες, αλλά δεν είναι ομοιόμορφες, επειδή έχουν αναπτυχθεί προοδευτικά και δεν είναι πλήρως ενσωματωμένες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δεδομένα συλλέγονται μέσω modem και όχι από την άμεση σύνδεση με το δίκτυο. Οι περιοχές για βελτίωση περιλαμβάνουν: αυτοματισμούς υποσταθμών, ανταπόκριση στη ζήτηση, αυτοματοποίηση της διανομής, εποπτικό έλεγχο και απόκτηση δεδομένων (SCADA), συστήματα διαχείρισης ενέργειας, ασύρματα δίκτυα πλέγματος και άλλες τεχνολογίες, power-line επικοινωνίες φορέα και οπτικών ινών. Ενσωματωμένες επικοινωνίες επιτρέπουν σε πραγματικό χρόνο έλεγχο, ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος, της αξιοποίησης περιουσιακών στοιχείων, και της ασφάλειας.

3.2 Ανίχνευση και μέτρηση

Τα κύρια καθήκοντα είναι η αξιολόγηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της σταθερότητας του δικτύου, της “υγείας” εξοπλισμού, του ελέγχου των στρατηγικών στήριξης. Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν: προηγμένα μέτρα μικροεπεξεργαστή (έξυπνο μετρητή) και εξοπλισμό ανάγνωσης της μέτρησης, ευρείας περιοχής συστήματα παρακολούθησης, την ηλεκτρομαγνητική μέτρηση / ανάλυση, την ώρα της χρήσης και σε πραγματικό χρόνο εργαλεία τιμολόγησης, προηγμένους διακόπτες, καλώδια, ασύρματα τεχνολογία.

3.3 Έξυπνοι μετρητές

Ένα έξυπνο δίκτυο αντικαθιστά τους αναλογικούς μηχανικούς μετρητές με ψηφιακούς μετρητές που καταγράφουν την χρήση σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι μετρητές είναι παρόμοιοι με προχωρημένα μέτρα μέτρησης. Με την επιλογή του πελάτη, τέτοιες συσκευές μπορεί να κλείσουν κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής της ζήτησης.

3.4 Μονάδες Μέτρησης

Αισθητήρες υψηλής ταχύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κατάστασης του ηλεκτρικού συστήματος. “Phasors” είναι οι αναπαραστάσεις του μεγέθους και της φάσης της εναλλασσόμενης τάσης σε ένα σημείο του δικτύου. Στη δεκαετία του 1980, διαπιστώθηκε ήταν οι παλμοί του ρολογιού από το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) θα μπορούσε να παράσχει ακριβές χρονικό σήμα σε συσκευές, επιτρέποντας τη μέτρηση της τάσης σε διαφορές γωνίες φάσης και σε μεγάλες αποστάσεις. Η έρευνα προτείνει ότι με μεγάλο αριθμό αισθητήρων και τη δυνατότητα να συγκρίνουν τάση με γωνίες φάσης σε καίρια σημεία του δικτύου, αυτοματοποιημένα συστήματα μπορεί να

φέρουν την επανάσταση στη διαχείριση των συστημάτων ενέργειας ανταποκρινόμενα σε συνθήκες του συστήματος με ταχύ, δυναμικό τρόπο.

Ένα ευρείας περιοχής σύστημα μέτρησης είναι ένα δίκτυο μονάδων διαχείρισης που μπορεί να παρέχει πραγματικό χρόνο παρακολούθησης σε περιφερειακή και εθνική κλίμακα.

3.5 Προηγμένα συστατικά

Καινοτομίες στην υπεραγωγιμότητα, την ανοχή σφαλμάτων, την αποθήκευση, και τα διαγνωστικά στοιχεία αλλάζουν τις θεμελιώδεις ικανότητες και τα χαρακτηριστικά των δικτύων. Οι τεχνολογίες σε αυτές τις ευρείες κατηγορίες περιλαμβάνουν: εύκαμπτες εναλλασσόμενου ρεύματος συσκευές του συστήματος μεταφοράς, συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης, πρώτης και δεύτερης γενιάς υπεραγώγιμο σύρμα, υψηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμο καλώδιο, κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας και συσκευές αποθήκευσης, σύνθετους αγωγούς, και "έξυπνες" συσκευές.

3.6 Προηγμένος έλεγχος

Αυτοματισμοί συστήματος ισχύος επιτρέπουν την ταχεία διάγνωση και συγκεκριμένες λύσεις σε συγκεκριμένες διαταραχές του δικτύου ή διακοπές. Οι τεχνολογίες αυτές συμβάλουν σε κάθε έναν από τους άλλους βασικούς τομείς. Τρεις κατηγορίες της τεχνολογίας για τις προηγμένες μεθόδους ελέγχου είναι: κατανεμημένοι ευφυείς πράκτορες (συστήματα ελέγχου), εργαλεία ανάλυσης (αλγόριθμοι λογισμικού και υπολογιστές υψηλής ταχύτητας), και επιχειρησιακές εφαρμογές (SCADA, αυτοματισμού υποσταθμού, ανταπόκριση ζήτησης, κλπ.). Χρησιμοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης προγραμματισμού, το Fujian δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην Κίνα δημιούργησε ένα σύστημα προστασίας που είναι γρήγορα σε θέση να υπολογίσει με ακρίβεια μια στρατηγική ελέγχου και να την εκτελέσει. Το λογισμικό Παρακολούθησης Τάσης & Ελέγχου Σταθερότητας (VSMC) χρησιμοποιεί διαδοχικές μεθόδους γραμμικού προγραμματισμού για να προσδιορίσει αξιόπιστα την βέλτιστη λύση ελέγχου.

3.7 Βελτιωμένες διεπαφές και υποστήριξη αποφάσεων

Πληροφοριακά συστήματα που μειώνουν την πολυπλοκότητα έτσι ώστε οι διαχειριστές να έχουν τα εργαλεία για την αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία ενός δικτύου με έναν αυξανόμενο αριθμό μεταβλητών. Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τεχνικές απεικόνισης που μειώνουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε εύκολα κατανοητές οπτικές μορφές, συστήματα λογισμικού που παρέχουν πολλαπλές επιλογές όταν απαιτούνται, και εξομοιωτές για την επιχειρησιακή εκπαίδευση και την "what-if" ανάλυση.

3.8 Έξυπνη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η Smart παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια έννοια που ταιριάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη ζήτηση χρησιμοποιώντας πολλαπλές ταυτόσημες γεννήτριες που μπορούν να ξεκινήσουν, να σταματήσουν και να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε επιλεγμένο φορτίο, ανεξάρτητα από τους άλλους, που τους καθιστά κατάλληλους για το βασικό φορτίο, οξύνοντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξισορρόπηση της

προσφοράς-ζήτησης, που ονομάζεται εξισορρόπηση φορτίου, είναι απαραίτητη για μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βραχυπρόθεσμες αποκλίσεις στο ισοζύγιο οδηγούν σε διακυμάνσεις της συχνότητας και παρατεταμένες διακοπές ρεύματος. Οι φορείς εκμετάλλευσης των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας επιφορτισμένοι με το καθήκον εξισορρόπησης, ταιριάζουν την ισχύ όλων των γεννητριών στο φορτίο του ηλεκτρικού δικτύου τους. Το έργο εξισορρόπησης φορτίου έχει γίνει πολύ πιο δύσκολο καθώς όλο και μεταβλητές γεννήτριες όπως οι ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά “κύτταρα” προστίθενται στο δίκτυο, αναγκάζοντας τους άλλους παραγωγούς να προσαρμόσουν την παραγωγή τους πολύ πιο συχνά από ό, τι έχουν κληθεί στο παρελθόν.

4 Έρευνα

4.1 Σημαντικά προγράμματα

IntelliGrid

Δημιουργήθηκε από το Ηλεκτρικό Ινστιτούτο Έρευνας (EPRI). Το IntelliGrid είναι ένα όραμα για το μέλλον του ηλεκτρικού συστήματος διανομής. Η κοινοπραξία IntelliGrid είναι δημόσιου / ιδιωτικού τομέα, ενσωματώνει και βελτιστοποιεί την παγκόσμια ερευνητική προσπάθεια, τα έργα για την ολοκλήρωση τεχνολογιών, και την διάδοση των τεχνικών πληροφοριών. Η IntelliGrid αρχιτεκτονική παρέχει τη μεθοδολογία, τα εργαλεία, καθώς και συστάσεις για πρότυπα και τεχνολογίες κοινής ωφελείας, τον καθορισμό και την προμήθεια ηλεκτρονικών συστημάτων, όπως η προηγμένη μέτρηση, αυτοματοποίηση της διανομής και ανταπόκριση στη ζήτηση. Η αρχιτεκτονική παρέχει επίσης ένα ζωντανό εργαστήριο για την αξιολόγηση συσκευών, συστημάτων, και της τεχνολογίας. Πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφελείας έχουν εφαρμόσει IntelliGrid αρχιτεκτονική, συμπεριλαμβανομένων των Southern California Edison, Long Island, Salt River Project, και TXU Electric.

Modern Grid Initiative

Η (MGI) είναι μια συνεργατική προσπάθεια μεταξύ του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE), του Εθνικού Εργαστηρίου Ενεργειακής Τεχνολογίας (NETL), των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας, των καταναλωτών, των ερευνητών και άλλων φορέων του δικτύου να αναπτύξουν ένα κοινό, εθνικό όραμα για τον εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού δικτύου των ΗΠΑ. Η MGI υποστηρίζει τα βασικά συστήματα και τεχνολογίες που χρησιμεύουν ως βάση για ένα ολοκληρωμένο, σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το γραφείο της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (DOE) και αξιοπιστίας Ενέργειας (OE) επιχορηγεί την πρωτοβουλία, η οποία αναπτύσσει το Grid το 2030 και το Δίκτυο Εθνικής Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και αναρμονίζεται με άλλα προγράμματα, όπως τα GridWise και GridWorks.

Grid 2030

Το Grid 2030 είναι μια κοινή δήλωση οράματος για το ηλεκτρικό σύστημα των ΗΠΑ και αναπτύχθηκε από τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, κατασκευαστές εξοπλισμού, φορείς παροχής τεχνολογίας των πληροφοριών, τις ομοσπονδιακές και κρατικές κυβερνητικές υπηρεσίες, ομάδες συμφερόντων, τα πανεπιστήμια, και τα εθνικά εργαστήρια. Καλύπτει την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή, την αποθήκευση και την τελική χρήση. Το Εθνικό Ηλεκτρικό Δίκτυο Διανομής είναι η εφαρμογή του οράματος για το Grid 2030. Ο χάρτης διανομής περιγράφει τα βασικά ζητήματα και τις προκλήσεις για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου και προτείνει διαδρομές που η κυβέρνηση και η βιομηχανία μπορεί να πάρουν για να χτίσει το μέλλον του ηλεκτρικού συστήματος διανομής της Αμερικής.

GridWise

Ένα DOE OE πρόγραμμα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των πληροφοριών για τον εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού δικτύου των ΗΠΑ. Το πρόγραμμα επενδύει στην

αρχιτεκτονική επικοινωνιών, στα πρότυπα και την προσομοίωση, στα εργαλεία ανάλυσης, στις έξυπνες τεχνολογίες, και στο νέο κανονιστικό, θεσμικό, πλαίσιο της αγοράς. Η GridWise Συμμαχία είναι μια κοινοπραξία δημόσιων και ιδιωτικών φορέων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας ένα φόρουμ για την ανταλλαγή ιδεών, συνεταιριστικές προσπάθειες και συναντήσεις με τους φορείς χάραξης πολιτικής σε ομοσπονδιακό και πολιτειακό επίπεδο.

GridWise Architecture Council

Το (GWAC) διαμορφώθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ για την προώθηση και την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ των πολλών φορέων που αλληλεπιδρούν με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Τα GWAC μέλη είναι μια ισορροπημένη και σεβαστή ομάδα που εκπροσωπεί τις πολλές εκλογικές περιφέρειες της αλυσίδας εφοδιασμού των χρηστών ηλεκτρικής ενέργειας. Η GWAC παρέχει καθοδήγηση της βιομηχανίας και τα εργαλεία για να αρθρώσει το στόχο της διαλειτουργικότητας μεταξύ του ηλεκτρικού συστήματος, να προσδιορίσει τις έννοιες και αρχιτεκτονικές που απαιτούνται για να επιτύχουν τη διαλειτουργικότητα, και να αναπτύξουν δραστικά μέτρα για τη διευκόλυνση της μεταξύ τους λειτουργίας των συστημάτων, συσκευών και οργάνων, που περιλαμβάνει το εθνικό ηλεκτρικό σύστημα. Το GridWise Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Διαλειτουργικότητας V 1.1 ορίζει τις απαραίτητες κατευθυντήριες γραμμές και τις αρχές.

GridWorks

Ένα DOE OE πρόγραμμα εστιάζεται στη βελτίωση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού συστήματος με τον εκσυγχρονισμό βασικών στοιχείων του δικτύου, όπως καλώδια, αγωγοί, υποσταθμοί και συστήματα προστασίας. Το επίκεντρο του προγράμματος περιλαμβάνει το συντονισμό των προσπαθειών για: την υψηλή θερμοκρασία των υπεραγωγίων συστημάτων, τεχνολογίες αξιοπιστίας της μεταφοράς, ηλεκτρικές τεχνολογίες διανομής, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, και GridWise συστήματα.

4.2 Smart grid modelling

Πολλές είναι οι διαφορετικές έννοιες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τα μοντέλα των έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν γενικά μελετηθεί στο πλαίσιο των πολύπλοκων συστημάτων. Σε μια πρόσφατη συνεδρία καταιγισμού ιδεών, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας κρίθηκε στα πλαίσια του βέλτιστου ελέγχου, της οικολογίας, της ανθρώπινης νόησης, της θεωρίας της πληροφορίας, και πολλά άλλα. Ακολουθεί μια επιλογή των τύπων των αναλύσεων που έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια.

Συστήματα προστασίας που ελέγχουν και εποπτεύουν τον εαυτό τους

Οι Pelqim Spahiu και Ian R. Evans στη μελέτη τους, εισήγαγαν την έννοια του υποσταθμού η οποία βασίζεται στην έξυπνη προστασία και σε υβριδικές Μονάδες Ελέγχου.

Ταλαντωτές Kuramoto

Το μοντέλο Kuramoto είναι ένα καλά μελετημένο σύστημα. Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει περιγραφεί σε αυτό το πλαίσιο. Ο στόχος είναι να διατηρηθεί το σύστημα σε ισορροπία για να διατηρήσει το συγχρονισμό φάσης (επίσης γνωστή ως κλείδωμα φάσης). Μη ομοιόμορφοι ταλαντωτές επίσης μπορούν να βοηθήσουν στην διαμόρφωση διαφορετικών τεχνολογιών, διαφορετικών τύπων γεννητριών, των καταναλωτικών συνηθειών, και ούτω καθεξής. Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί επίσης για να περιγράψει διάφορα πρότυπα συγχρονισμού.

Βιο-συστήματα

Τα ηλεκτρικά δίκτυα έχουν σχέση με πολύπλοκα βιολογικά συστήματα σε πολλά άλλα περιβάλλοντα. Σε μία μελέτη, δίκτυα ενέργειας συγκρίθηκαν με το κοινωνικό δίκτυο "δελφίνι". Αυτά τα πλάσματα έχουν εξορθολογιστική επικοινωνία σε περίπτωση ασυνήθιστης κατάστασης. Οι ενδοεπικοινωνίες που τους επιτρέπουν να επιβιώνουν είναι εξαιρετικά πολύπλοκες.

Τυχαία δίκτυα ασφάλειας

Στη θεωρία διήθησης, έχουν μελετηθεί τυχαία δίκτυα ασφάλειας. Η πυκνότητα ρεύματος μπορεί να είναι πολύ χαμηλή σε ορισμένες περιοχές, και πολύ ισχυρή σε άλλες. Η ανάλυση μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για να εξομαλύνει πιθανά προβλήματα στο δίκτυο. Για παράδειγμα, υψηλής ταχύτητας ανάλυση του υπολογιστή μπορεί να προβλέψει καμένες ασφάλειες, ή να αναλύσει τα σχέδια που μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή ρεύματος. Είναι δύσκολο για τους ανθρώπους να προβλέψουν μακροπρόθεσμα σχέδια σε πολύπλοκα δίκτυα, έτσι ασφάλεια ή δίοδος χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αντ' αυτού.

Νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρικά δίκτυα έχουν εξεταστεί για τη διαχείριση δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Διεργασίες Markov

Δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια συνεχίζει να κερδίζει δημοτικότητα, γίνεται ένα απαραίτητο συστατικό σε ρεαλιστικές μελέτες δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η Off-line αποθήκευση, η μεταβλητότητα του ανέμου, η προσφορά, η ζήτηση, οι τιμές, και άλλοι παράγοντες μπορεί να μοντελοποιηθούν ως ένα μαθηματικό παιχνίδι. Εδώ ο στόχος είναι να αναπτυχθεί μια στρατηγική νίκης. Οι διεργασίες Markov έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση και τη μελέτη αυτού του συστήματος.

Μέγιστη εντροπία

Όλες αυτές οι μέθοδοι είναι, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, μέγιστης εντροπίας μέθοδοι, οι οποίες είναι ένας ενεργός τομέας της έρευνας. Αυτό ανάγεται στις ιδέες του Shannon, και πολλών άλλων ερευνητών που μελέτησαν τα δίκτυα επικοινωνιών. Συνεχίζοντας με παρόμοιο τρόπο σήμερα, η σύγχρονη έρευνα ασύρματου δικτύου κρίνει συχνά το πρόβλημα της συμφόρησης του δικτύου και πολλοί αλγόριθμοι προτείνονται για την

ελαχιστοποίησή της, συμπεριλαμβανομένων και της θεωρίας παιγνίων, των καινοτόμων τεχνολογικών συνδυασμών, FDMA, TDMA, και άλλων.

5 Οικονομικά

5.1 Προοπτικές της αγοράς

Το 2009, η αμερικανική βιομηχανία έξυπνου δικτύου αποτιμάται σε περίπου \$ 21.4 δισεκατομμυρίων - μέχρι το 2014, θα ξεπεράσει τουλάχιστον τα \$ 42.800.000.000. Με δεδομένη την επιτυχία των έξυπνων δικτύων στις ΗΠΑ, η παγκόσμια αγορά αναμένεται να αυξηθεί με ταχύτερο ρυθμό, από 69.3 δισεκατομμύρια δολάρια το 2009 σε \$ 171.4 δισεκατομμύρια μέχρι το 2014. Με τα τμήματα που επωφελούνται τα μέγιστα να είναι οι έξυπνοι μετρητές και οι κατασκευαστές του λογισμικού που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση.

5.2 Γενική Διεύθυνση Οικονομικών εξελίξεων

Καθώς οι πελάτες μπορούν να επιλέξουν τον προμηθευτή τους σε ηλεκτρική ενέργεια, ανάλογα με τις διαφορετικές μεθόδους χρέωσης, το επίκεντρο του κόστους μεταφοράς θα αυξηθεί. Μείωση στο κόστος της συντήρησης και της αντικατάστασης θα “τονώσει” τον προηγμένο έλεγχο.

Ένα έξυπνο δίκτυο περιορίζει την ηλεκτρική ενέργεια μέχρι το οικιστικό επίπεδο, το δίκτυο μικρής κλίμακας παραγωγής ενέργειας και συσκευές αποθήκευσης, ανακοινώνουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας και τις ανάγκες, τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις τιμές και τις συνθήκες δικτύου, και μετακινούν το πλέγμα πέρα από κεντρικό έλεγχο σε ένα συνεργατικό δίκτυο.

5.2.1 ΗΠΑ και Βρετανία: Εξοικονόμηση και Ανησυχίες

Μία ενεργειακή μελέτη υπολογίζει ότι ο εσωτερικός εκσυγχρονισμός των αμερικανικών δικτύων, με έξυπνες δυνατότητες δικτύου θα σώσει μεταξύ 46 και 117 δισεκατομμύρια δολάρια μέσα στα επόμενα 20 χρόνια. Όπως και τα βιομηχανικά οφέλη του εκσυγχρονισμού, έξυπνες λειτουργίες δικτύου θα μπορούσουν να επεκτείνουν την ενεργειακή απόδοση πέρα από το δίκτυο στο σπίτι μέσω του συντονισμού συσκευών χαμηλής προτεραιότητας στο σπίτι, όπως θερμοσίφωνες, έτσι ώστε η χρήση της ενέργειας τους να εκμεταλλεύεται τις πιο επιθυμητές πηγές ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα μπορούν επίσης να συντονίζουν την παραγωγή ενέργειας από μεγάλο αριθμό μικρών παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι ιδιοκτήτες του τελευταίου ορόφου ηλιακών συλλεκτών - μια ρύθμιση που διαφορετικά θα αποδειχθεί προβληματική για συστήματα ισχύος σε τοπικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας.

Ένα σημαντικό ερώτημα είναι κατά πόσον οι καταναλωτές θα δράσουν, ανταποκρινόμενοι στα μηνύματα της αγοράς. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπου οι καταναλωτές είχαν τη δυνατότητα επιλογής της εταιρείας παροχής από την οποία θα αγόραζαν ηλεκτρική ενέργεια από το 1998, σχεδόν οι μισοί έχουν μείνει με τον υπάρχοντα προμηθευτή τους, αν και διαφορετικοί προμηθευτές προσφέρουν διαφορετικές τιμές.

Μια άλλη ανησυχία είναι ότι το κόστος των τηλεπικοινωνιών για την πλήρη υποστήριξη έξυπνων δικτύων μπορεί να είναι απαγορευτικό. Μια λιγότερο ακριβή επικοινωνία

προτείνεται χρησιμοποιώντας μια μορφή "δυναμικής διαχείρισης της ζήτησης" όπου οι συσκευές μετατοπίζουν τα φορτία τους ως αντίδραση στη συχνότητα δικτύου. Η συχνότητα δικτύου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κοινοποίηση πληροφοριών φορτίου χωρίς την ανάγκη ενός συμπληρωματικού δικτύου τηλεπικοινωνιών, αλλά δεν θα υποστηρίζει την οικονομική διαπραγμάτευση ή την ποσοτικοποίηση των εισφορών.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν συγκεκριμένες και δοκιμασμένες τεχνολογίες έξυπνων δικτύων σε χρήση, το έξυπνο δίκτυο είναι ένας συγκεντρωτικός όρος για μια σειρά από τεχνολογίες που σχετίζονται και οι προδιαγραφές είναι γενικά αποδεκτές, και όχι ένα όνομα για τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Μερικά από τα οφέλη ενός τέτοιου εκσυγχρονισμένου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από την πλευρά των καταναλωτών κατά τις ώρες αιχμής, που ονομάζεται διαχείριση της ζήτησης. Επιτρέπει τη σύνδεση στο δίκτυο της κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας (με φωτοβολταϊκές συστοιχίες, μικρές ανεμογεννήτριες, μικρο-υδροηλεκτρικά, ή συνδυάζεται ακόμα και με γεννήτριες θερμότητας σε κτίρια). Η αυξημένη αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου αναμένεται να εξοικονομήσει χρήματα για τους καταναλωτές και να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών CO₂.

6. Ενστάσεις και Ανησυχίες

Οι περισσότερες ενστάσεις και ανησυχίες επικεντρώθηκαν στους ευφυείς μετρητές και τα στοιχεία (όπως τηλεχειρισμό, αποσύνδεση, και μεταβλητή τιμολόγηση επιτοκίου) ενεργοποιημένα από αυτούς.

Σημεία ένστασης ή ανησυχίας περιλαμβάνουν τα εξής:

- ανησυχίες των καταναλωτών για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, π.χ. χρήση των δεδομένων χρήσης από τις αρχές
- κοινωνικές ανησυχίες για "δίκαιη" διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας
- την ανησυχία για τα περίπλοκα συστήματα (π.χ. κυμαινόμενα επιτόκια), αφαίρεση σαφήνειας και υπευθυνότητας, επιτρέποντας στον προμηθευτή να επωφεληθεί από τον πελάτη
- ανησυχία για το εξ αποστάσεως ελεγχόμενο "kill switch" που ενσωματώνουν οι πιο έξυπνοι μετρητές
- κοινωνικές ανησυχίες, καταχρήσεις, μόχλευση πληροφοριών
- ανησυχίες σχετικά με την παροχή των κυβερνητικών μηχανισμών για τον έλεγχο της χρήσης της ενέργειας με τη χρήση όλων των δραστηριοτήτων
- ανησυχίες για τις εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων από έξυπνους μετρητές

6.1 Ασφάλεια

Με την έλευση του εγκλήματος στον κυβερνοχώρο, υπάρχει επίσης η ανησυχία για την ασφάλεια των υποδομών, κυρίως με την συμμετοχή των τεχνολογιών επικοινωνίας. Αφορά κυρίως το κέντρο γύρω από την τεχνολογία των επικοινωνιών, στην καρδιά του έξυπνου δικτύου. Έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο επαφή μεταξύ επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και των μετρητών στα σπίτια και τις επιχειρήσεις των πελατών, υπάρχει ο κίνδυνος ότι οι δυνατότητες αυτές θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για νομικές ή ακόμη και τρομοκρατικές ενέργειες. Μία από τις βασικές δυνατότητες αυτής της σύνδεσης είναι η δυνατότητα για την απομακρυσμένη απενεργοποίηση τροφοδοτικών, επιτρέποντας λειτουργίες γρήγορα και εύκολα όπως: παύση ή τροποποίηση του εφοδιασμού των πελατών που καθυστερούν την πληρωμή. Αυτό είναι αναμφίβολα ένα τεράστιο όφελος για τους παρόχους ενέργειας, αλλά και εγείρει ορισμένα σημαντικά ζητήματα ασφάλειας. Οι κυβερνοεγκληματίες έχουν διεισδύσει στο ηλεκτρικό δίκτυο των ΗΠΑ στο παρελθόν σε πολλές περιπτώσεις. Εκτός από την διείσδυση των υπολογιστών, υπάρχουν επίσης ανησυχίες ότι το κακόβουλο λογισμικό ηλεκτρονικών υπολογιστών όπως Stuxnet, το οποίο στοχεύει τα συστήματα SCADA που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επιτεθεί σε ένα έξυπνο δίκτυο.

Η κλοπή ηλεκτρικού ρεύματος είναι μια ανησυχία στις ΗΠΑ, όπου οι έξυπνοι μετρητές που έχουν αναπτυχθεί, χρησιμοποιούν την τεχνολογία RF των Fastrak αναμεταδοτών να επικοινωνούν με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι άνθρωποι με γνώση των ηλεκτρονικών μπορούν να σχεδιάσουν συσκευές που προκαλούν παρεμβολές, να προκαλέσουν το έξυπνο μετρητή να αναφέρει λιγότερο από την πραγματική χρήση.

Ομοίως, η ίδια τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φαίνεται ότι η ενέργεια που ο καταναλωτής χρησιμοποιεί, χρησιμοποιείται από άλλο πελάτη, αυξάνοντας το λογαριασμό του.

7 Άλλες προκλήσεις

Πριν την εγκατάσταση ενός προηγμένου συστήματος μέτρησης, ή οποιουδήποτε είδους των έξυπνων συστημάτων, θα πρέπει να γίνει μια εκτίμηση για την επένδυση. Ορισμένα στοιχεία, όπως οι σταθεροποιητές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (PSS) για να εγκατασταθούν σε γεννήτριες είναι πολύ ακριβοί, απαιτούνται μόνο κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, αλλά είναι αποτελεσματικοί μόνο αν και οι άλλοι προμηθευτές του δικτύου τους έχουν. Χωρίς κανένα κίνητρο για να τα εγκαταστήσουν, προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας δεν το κάνουν. Οι περισσότερες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θεωρούν ότι είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί η εγκατάσταση υποδομής επικοινωνιών για μια ενιαία αίτηση (π.χ. ανάγνωση του μετρητή). Εξαιτίας αυτού, ένα βοηθητικό πρόγραμμα πρέπει να προσδιορίζει συνήθως αρκετές εφαρμογές που θα χρησιμοποιούν την ίδια υποδομή επικοινωνιών - για παράδειγμα, διαβάζοντας ένα μέτρητη, την παρακολούθηση της ποιότητας ισχύος, απομακρυσμένη σύνδεση και αποσύνδεση των πελατών, επιτρέποντας την ανταπόκριση στη ζήτηση, κλπ. Στην ιδανική περίπτωση, η υποδομή των επικοινωνιών δεν θα υποστηρίζει μόνο βραχυπρόθεσμες εφαρμογές, αλλά και απρόβλεπτες εφαρμογές που θα προκύψουν στο μέλλον. Κανονιστικές ή νομοθετικές ενέργειες μπορούν να οδηγήσουν επίσης, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στην υλοποίηση ενός έξυπνου δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι κάθε βοηθητικό πρόγραμμα θα ακολουθήσει έναν διαφορετικό δρόμο για τη δημιουργία έξυπνου δικτύου και ότι οι διαφορετικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα δημιουργήσουν έξυπνα δίκτυα με διαφορετικά ποσοστά έγκρισης.

Μερικά χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων έρχονται σε αμφισβήτηση από τις βιομηχανίες που υπάρχουν σήμερα, ή ελπίζουν να παρέχουν παρόμοιες υπηρεσίες. Ένα παράδειγμα είναι ο ανταγωνισμός από τους παρόχους Internet, από τις ευρυζωνικές μέσω ηλεκτρικής καλωδίωσης πρόσβασης στο internet. Οι πάροχοι SCADA συστημάτων ελέγχου για δίκτυα έχουν σχεδιάσει σκόπιμο ιδιόκτητο εξοπλισμό, τα πρωτόκολλα και το λογισμικό έτσι ώστε να μην μπορούν να δια-λειτουργούν με άλλα συστήματα, προκειμένου να “δέσουν” τους πελάτες τους.

7.1 Κλοπή ρεύματος - Απώλεια ισχύος

Σε αντίθεση με το όνομά του, η σημερινή τεχνολογία Smart Grid που χρησιμοποιείται από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δεν ανιχνεύει πραγματικά κλοπή ρεύματος ή βλάβη του εξοπλισμού. Όπως αναφέρεται λεπτομερώς στην Huffington Post, έχουν δύναμη συστήματα ανίχνευσης απώλειας / κλοπής, που παράγονται από εταιρείες όπως η Awesense, έχουν χρησιμοποιηθεί από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε όλη τη Βόρεια Αμερική από το 2010. Θα βοηθήσει επίσης τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στον εντοπισμό των προβλημάτων, με αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάκαμψη και χαμηλότερο κόστος για τους πελάτες που πληρώνουν κανονικά.

Η παγκόσμια απώλεια ισχύος, συμπεριλαμβανομένης της κλοπής εκτιμάται σε περίπου 200.000.000.000 δολάρια ετησίως

8 Υλοποιήσεις και απόπειρες Υλοποιήσεων

- **Enel**

Το πρώτο, και ακόμα το μεγαλύτερο παράδειγμα ενός έξυπνου δικτύου είναι το ιταλικό σύστημα που είναι εγκατεστημένο από την Enel SpA της Ιταλίας. Ολοκληρώθηκε το 2005, το έργο Telegestore ήταν εξαιρετικά ασυνήθιστο στον κόσμο επειδή η εταιρεία έχει σχεδιάσει και κατασκευάσει τους δικούς της μετρητές και ανέπτυξε το λογισμικό τους σύστημα. Το έργο Telegestore θεωρείται ευρέως ως η πρώτη εμπορική χρήση της τεχνολογίας των ευφυών δικτύων στο σπίτι, και παραδίδει ετήσια εξοικονόμηση ύψους 500 εκατ. ευρώ σε κόστος έργου των € 2.100.000.000.

- **Austin, Texas**

Στις ΗΠΑ, το Τέξας έχει εργαστεί για την οικοδόμηση έξυπνου δικτύου από το 2003, με έξυπνους μετρητές που επικοινωνούν μέσω ενός ασύρματου δικτύου πλέγματος. Επίσης, διαχειρίζεται σήμερα 200.000 συσκευές σε πραγματικό χρόνο (έξυπνοι μετρητές, έξυπνοι θερμοστάτες και αισθητήρες σε όλη την περιοχή εξυπηρέτησης του), και αναμένει να υποστηρίξει 500.000 συσκευές σε πραγματικό χρόνο, και αργότερα 1 εκατ. καταναλωτές και 43.000 επιχειρήσεις.

- **Boulder, Colorado**

Το Boulder ολοκλήρωσε την πρώτη φάση του προγράμματος SMART δικτύου τον Αύγουστο του 2008. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν τον έξυπνο μετρητή ως πύλη προς το δίκτυο οικιακού αυτοματισμού (HAN) που ελέγχει έξυπνες πρίζες και συσκευές. Ορισμένοι σχεδιαστές HAN ευνοούν την αποσύνδεση των λειτουργιών ελέγχου από το μετρητή και τις τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες από το ραγδαία εξελισσόμενο επιχειρηματικό τομέα ηλεκτρονικών συσκευών του σπιτιού.

- **Hydro One**

Στο Οντάριο του Καναδά είναι στη μέση μιας μεγάλης κλίμακας πρωτοβουλία Smart Grid, αναπτύσσοντας ένα συμβατό με τα πρότυπα της υποδομής των επικοινωνιών από την Trilliant. Μέχρι το τέλος του 2013, το σύστημα θα εξυπηρετεί 1,3 εκατομμύρια πελάτες στην επαρχία του Οντάριο. Η πρωτοβουλία κέρδισε το "Καλύτερη Πρωτοβουλία AMR στη Βόρεια Αμερική".

- Η πόλη του **Mannheim** στη Γερμανία χρησιμοποίησε πραγματικό χρόνο Broadband Powerline (BPL) στο έργο με όνομα "MoMa"

- **Adelaide**

Η Αδελαΐδα της Αυστραλίας σχεδιάζει επίσης να εφαρμόσει ένα πράσινο Smart Grid δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, στο πάρκο ανάπλασης Tonsley.

- **Évora**

Το InovGrid είναι ένα καινοτόμο έργο στην Évora, της Πορτογαλίας, που έχει ως στόχο να εξοπλίσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με τις πληροφορίες και τις

συσκευές για την αυτοματοποίηση της διαχείρισης των δικτύων, τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών, τη μείωση του κόστους λειτουργίας, την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, και την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ηλεκτρικών οχημάτων. Θα είναι δυνατόν να ελέγχουν και να διαχειρίζονται την κατάσταση ολόκληρου του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε δεδομένη στιγμή, επιτρέποντας στους προμηθευτές και εταιρείες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών να χρησιμοποιήσουν αυτή την τεχνολογική πλατφόρμα για την παροχή στους καταναλωτές πληροφοριών για την προστιθέμενη αξία των ενεργειακών προϊόντων και των υπηρεσιών.

- Αρκετές γερμανικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν δημιουργήσει τον πρώτο πυρήνα του μοντέλου σε έξι ανεξάρτητες περιοχές. Ένας διαγωνισμός τεχνολογίας χαρακτήρισε αυτό το μοντέλο για τη διεξαγωγή δραστηριοτήτων έρευνας και ανάπτυξης, με κύριο στόχο την δημιουργία ενός "Internet της Ενέργειας".
- **Massachusetts**
Μία από τις πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης του «έξυπνου δικτύου» στις Ηνωμένες Πολιτείες είχε απορριφθεί το 2009 από τις ρυθμιστικές αρχές ηλεκτρικής ενέργειας στην Κοινοπολιτεία της Μασαχουσέτης, μια πολιτεία των ΗΠΑ. Ένας εκπρόσωπος μιας περιβαλλοντικής ομάδας υποστήριξης των έξυπνων σχεδίων δικτύου, δήλωσε: « Αν χρησιμοποιηθεί σωστά, η τεχνολογία έξυπνου δικτύου έχει πολλές δυνατότητες για τη μείωση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής, η οποία θα μας επιτρέψει να κλείσουν ορισμένοι από τους παλαιότερους, πιο βρώμικους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ... Είναι ένα εργαλείο.»

9 Τα έξυπνα δίκτυα ανά χώρα

9.1 Ευρώπη: Αυστρία

Αν και δεν υπάρχει πρότυπο παγκόσμιου ορισμού, οι ευρωπαϊκές SmartGrid τεχνολογικές πλατφόρμες ορίζουν έξυπνα δίκτυα, όπως τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσουν έξυπνα τη συμπεριφορά και τις ενέργειες όλων των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, για την αποτελεσματική επίτευξη βιώσιμου, οικονομικού και ασφαλές εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας.

9.1.1 Η κατάσταση στην Αυστρία

Η Αυστριακή E-Control αναφέρει τις ακόλουθες απαιτήσεις που ένα έξυπνο δίκτυο πρέπει να πληρεί:

- Να διατίθεται σε επαρκείς ποσότητες
- Ασφαλής και καλής ποιότητας
- Προσιτό
- Φιλικό προς το περιβάλλον
- Κοινωνικά αποδεκτό

Υπάρχουν επί του παρόντος περίπου 100.000 έξυπνοι μετρητές που είναι εγκατεστημένοι στην Αυστρία. Αυτοί είναι διασκορπισμένοι σε έξι περιφέρειες και λειτουργούν ανεξάρτητα. Οι προκλήσεις οι οποίες ακόμη να ξεπεραστούν για την εγκατάσταση, σε εθνικό επίπεδο είναι: οι τεχνικές απαιτήσεις, η συμβατότητα, το χάσμα μεταξύ των κανόνων για τη γραμμή ρεύματος, το απόρρητο των δεδομένων και μια πιο ευέλικτη νομοθεσία για την μέτρηση. Παραγωγή hydroenergy σε μία μικρή (ιδιωτική) βάση έχει μια παράδοση στην Αυστρία. Με τα Smart Grids που κάνουν χρήση αυτής, ο κλάδος αυτός είναι βέβαιο ότι θα γίνει πολύ πιο ενδιαφέρον και πολύτιμος για την κοινωνία στο μέλλον.

9.2 Αμερική: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Υποστήριξη για το έξυπνο δίκτυο στις Ηνωμένες Πολιτείες έγινε με την ομοσπονδιακή πολιτική με το πέρασμα της Ανεξαρτησίας Ενέργειας και του Security Act του 2007. Ο νόμος ορίζει 100 εκατομμύρια δολάρια σε χρηματοδότηση ανά οικονομικό έτος 2008-2012, δημιούργησε μια αντιστοιχία του προγράμματος προς τα κράτη, για την κατασκευή έξυπνων δυνατοτήτων δικτύου, και δημιούργησε μια Επιτροπή Εκσυγχρονισμό του δικτύου ώστε να αξιολογήσει τα οφέλη της ανταπόκρισης στη ζήτηση και να προτείνει τα απαιτούμενα πρότυπα του πρωτοκόλλου.

Τα έξυπνα δίκτυα έλαβαν περαιτέρω υποστήριξη με το “American Recovery and Reinvestment Act” του 2009.

9.2.1 Πολιτική σχετικά με τα ευφυή δίκτυα

Η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας (FERC) εξέδωσε μια προτεινόμενη πολιτική και ένα σχέδιο δράσης στις 19 Μαρτίου 2009, για τα πρότυπα που διέπουν την ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου, που οδηγεί σε μια τελική ρύθμιση που εκδόθηκε στις 16 Ιουλίου 2009. Ωστόσο, η FERC σημειώνει ότι η ηλεκτρική βιομηχανία ήδη κινείται μπροστά με τεχνολογίες έξυπνων δικτύων, γι' αυτό προτείνει να καθιερώσει ορισμένες γενικές αρχές, και έξυπνα πρότυπα του δικτύου που θα πρέπει να ακολουθηθούν. Η FERC εξετάζει επίσης την αύξηση των καθαρών πηγών ενέργειας, έτσι ώστε η Επιτροπή θέλει να είναι σίγουρη ότι τα ευφυή δίκτυα θα ικανοποιούν καλύτερα τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα συστήματα ανταπόκρισης στη ζήτηση, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, και τα ηλεκτρικά οχήματα. Για τα ηλεκτρικά οχήματα, η FERC τουλάχιστον θέλει το έξυπνο δίκτυο να επιτρέπει τη φόρτιση σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ισχύος, αλλά στην ιδανική περίπτωση, η Επιτροπή θα ήθελε το έξυπνο δίκτυο να φιλοξενήσει vehicle-to-grid τεχνολογίες.

9.3 Ασία: Νότια Κορέα

9.3.1 Τα έξυπνα δίκτυα στη Νότια Κορέα

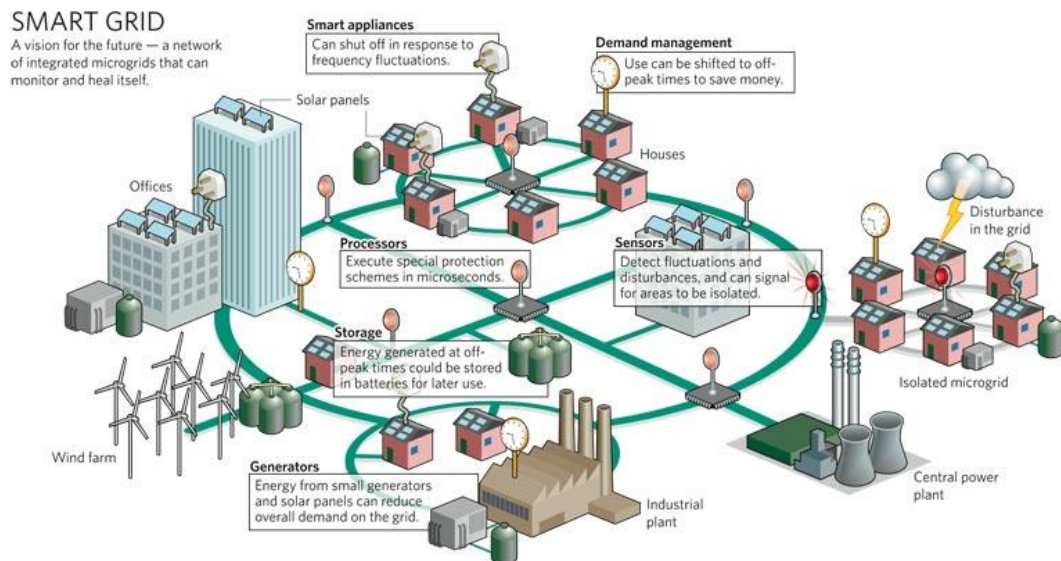
Η κυβέρνηση της Νότιας Κορέας ανακοίνωσε στόχο μείωσης CO₂ για το 2020. Ο στόχος αντιπροσωπεύει μια μείωση κατά 30% από το εκτιμώμενο επίπεδο του 2020. Ο στόχος αυτός θεωρείται πολύ δύσκολος αφού η κορεατική βιομηχανία είχε διπλασιάσει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ 1990 και 2005, η ταχύτερη ανάπτυξη στις χώρες του ΟΟΣΑ. Η Κορέα έχει θέσει οικειοθελώς το 2020 τον στόχο της μείωσης των εκπομπών. Με αυτή την υπόσχεση, η Σεούλ επιδιώκει να αποτελέσει πρότυπο για άλλες χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως αναπτυσσόμενες χώρες στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Οι δύο χώρες έχουν έτσι δεσμευτική υποχρέωση, στο να ανακοινώσουν στόχο για μείωση κατά το 2030.

Η Κορέα επιδιώκει επίσης, την αειφόρο ανάπτυξη, ενώ ασχολείται με την κλιματική αλλαγή. Την ίδια στιγμή, είναι η στροφή προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και σε μια κοινωνία ικανή να ανακάμπτει από την κλιματική αλλαγή. Στο πλαίσιο αυτών των προσπαθειών, η Κορέα ξεκίνησε ένα έξυπνο σχέδιο, το National Grid, για την επίτευξη της πράσινης ανάπτυξης με ένα διαφανές, ολοκληρωμένο, αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Το σχέδιο προβλέπει να τεθούν τα θεμέλια για μια χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, πράσινη - ανάπτυξη της οικονομίας με τη δημιουργία ενός Smart Grid. Έτσι, μπορεί να χρησιμεύσει ως κριτήριο για την αξιολόγηση του μέλλοντος της πράσινης ανάπτυξης της οικονομίας της Κορέας. Υπό το πρίσμα αυτό, η Κορέα ήρθε με ένα προληπτικό και φιλόδοξο σχέδιο για την κατασκευή ενός Smart Grid Test, να αποδείξει την

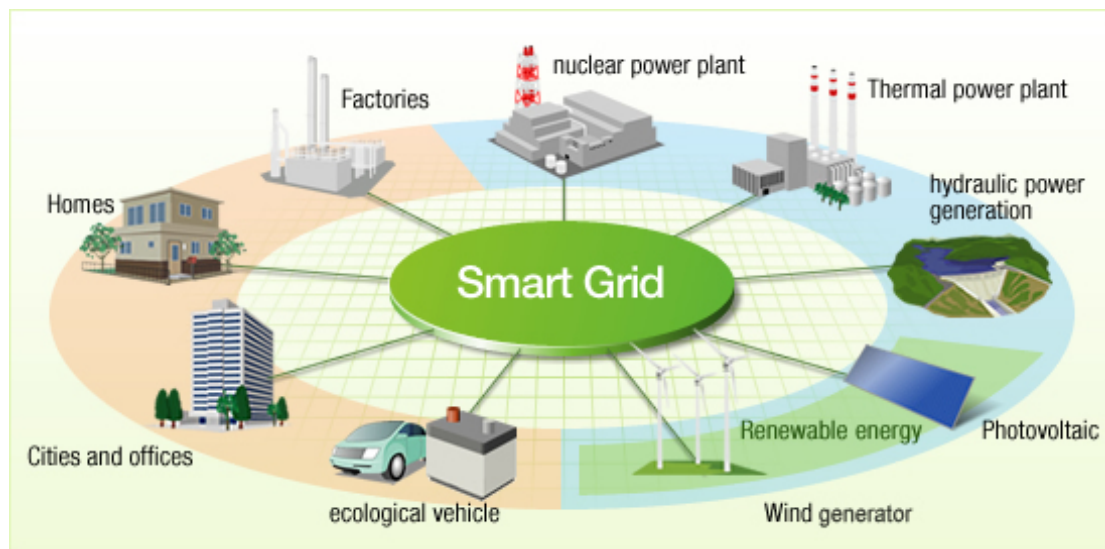
αποφασιστικότητά της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα , πράσινης ανάπτυξης στρατηγικής . Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής , η Κορέα έχει αναγνωρίσει την αναγκαιότητα για ένα Smart Grid ως υποδομή για την οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα , πράσινη βιομηχανία στο πλαίσιο της προετοιμασίας για τις δεσμευτικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με αυτό κατά νου , η κορεατική κυβέρνηση εφαρμόζει τις σχετικές πολιτικές και τα σχέδια που μπορούν να πλαισιωθούν. Με λίγα λόγια , η Κορέα συνεχίζει την πρωτοβουλία του Smart Grid ως μια εθνική πολιτική για να επιτευχθεί το όραμα του «χαμηλού άνθρακα , πράσινη ανάπτυξη ". Σύμφωνα με αυτό , το 2009 , η Πράσινη Επιτροπή Ανάπτυξης της Κορέας παρουσίασε την « Οικοδόμηση μιας Σύνθετης Πράσινης Χώρας " , όπως το όραμα της , και προσδιορίζονται τα περιεχόμενα του Smart Grid . Στη συνέχεια , το Νοέμβριο του 2009 , συγκεντρώθηκαν οι απόψεις των εμπειρογνομόνων της βιομηχανίας, των πανεπιστημίων και των ερευνητικών ιδρυμάτων για να περιγράψουν το εθνικό χάρτη.

Παράρτημα – Εικόνες

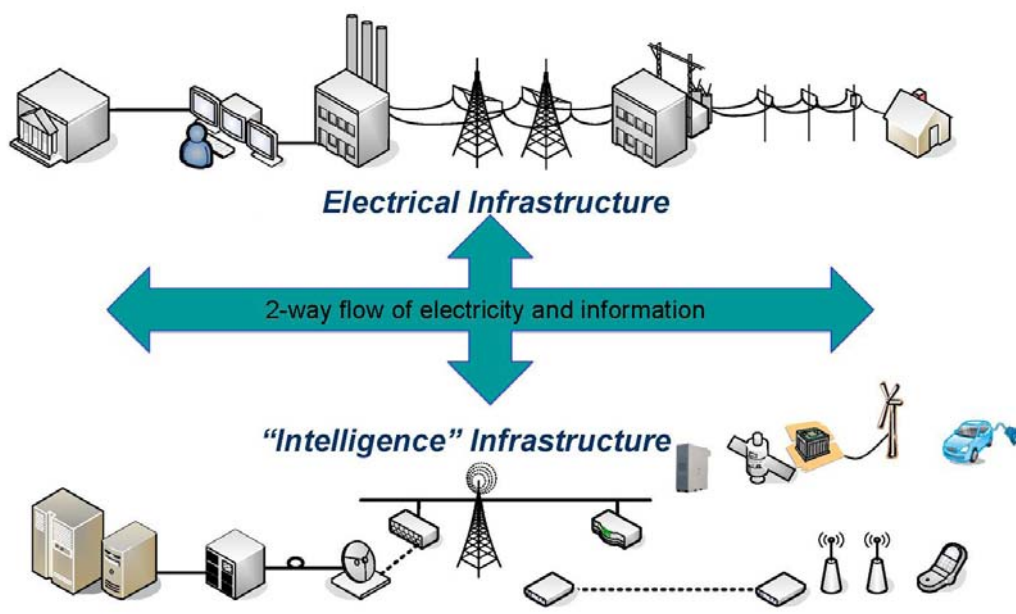
Εικόνα 1



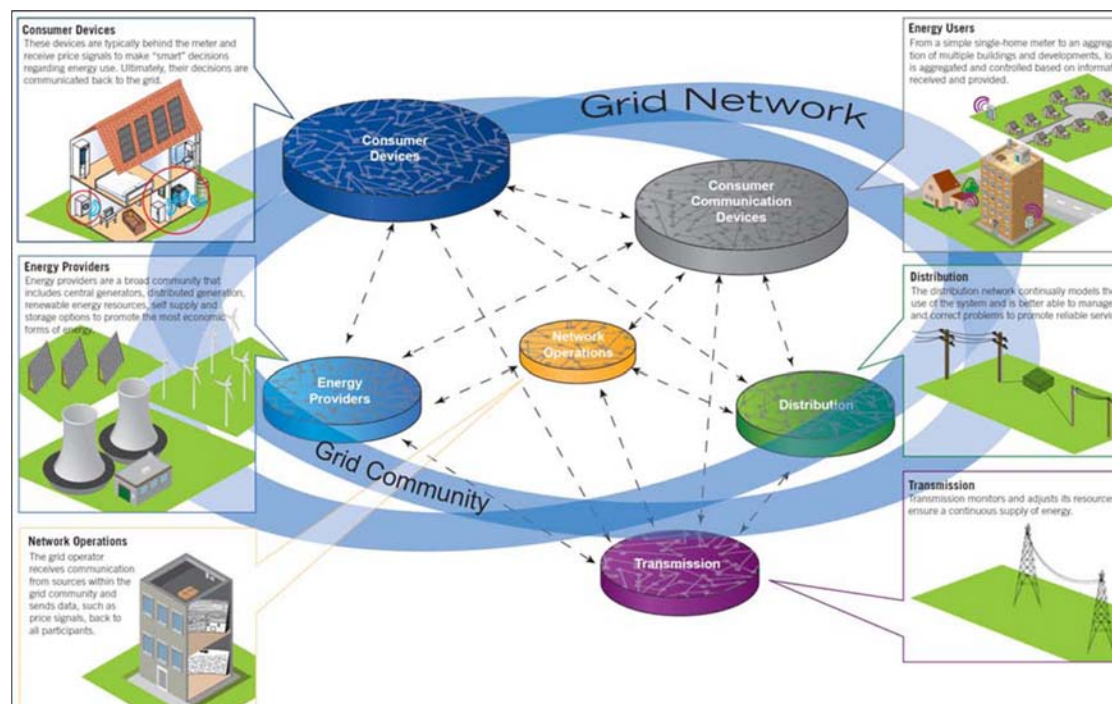
Εικόνα 2



Εικόνα 3



Εικόνα 4



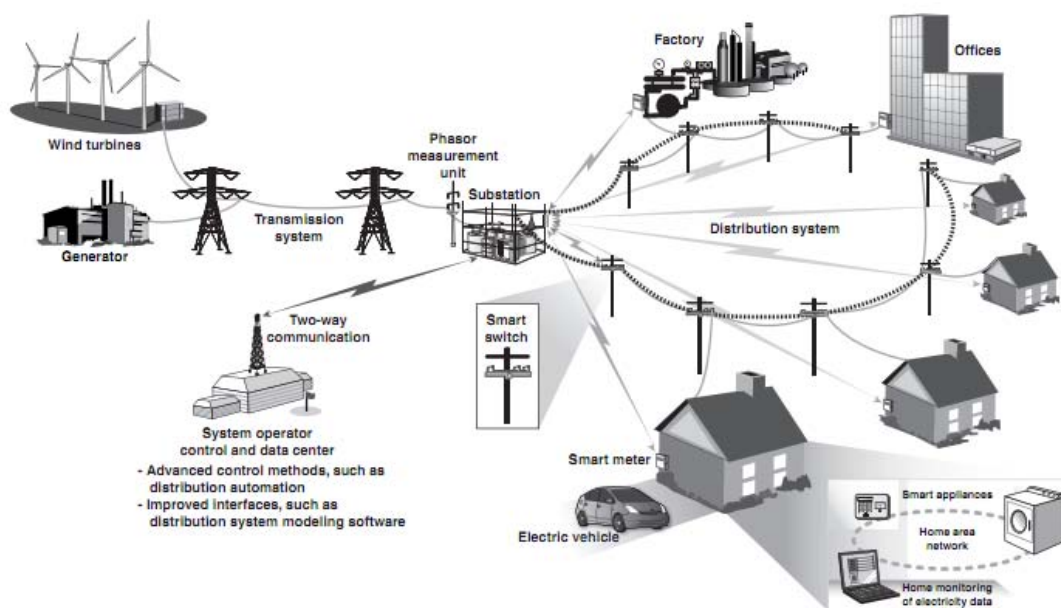
Εικόνα 5

TOP TEN COUNTRIES FOR FEDERAL SMART GRID INVESTMENT, 2010



SOURCE: Zpryme Research & Consulting

Εικόνα 6



Αναφορές

- U.S Department of Energy. "Smart Grid / Department of Energy".
- "Smart Grids European Technology Platform | www.smartgrids.eu". [smartgrids.eu](http://www.smartgrids.eu).
- J. Torriti, Demand Side Management for the European Supergrid Energy Policy,
- "The History of Electrification: The Birth of our Power Grid". Edison Tech Center.
- Mohsen Fadaee Nejad, Amin Mohammad Saberian and Hashim Hizam. "Application of smart power grid in developing countries". 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO) (IEEE).
- Smart Grid Working Group. "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future, Appendix A: Working Group Reports" (PDF). Energy Future Coalition.
- Michael T. Burr, "Reliability demands drive automation investments," Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department,
- Federal Energy Regulatory Commission staff report. Assessment of Demand Response and Advanced Metering (PDF). United States Department of Energy.
- National Energy Technology Laboratory. NETL Modern Grid Initiative — Powering Our 21st-Century Economy (PDF). United States Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability.
- "Gridwise History: How did GridWise start?". Pacific Northwest National Laboratory.
- Qixun Yang, Board Chairman, Beijing Sifang Automation Co. Ltd., China and .Bi Tianshu, Professor, North China Electric Power University, China. "WAMS Implementation in China and the Challenges for Bulk Power System Protection" (PDF). Panel Session: Developments in Power Generation and Transmission — Infrastructures in China, IEEE 2007 General Meeting, Tampa, FL, USA, Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
- N. A. Sinitsyn. S. Kundu, S. Backhaus. "Safe Protocols for Generating Power Pulses with Heterogeneous Populations of Thermostatically Controlled Loads". Energy Conversion and Management
- Energy Future Coalition, "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future," Appendix A: Working Group Reports, Report of the Smart Grid Working Group.
- Why the Smart Grid Won't Have the Innovations of the Internet Any Time Soon: Cleantech News and Analysis «. Earth2tech.com.
- Cisco's Latest Consumer Play: The Smart Grid: Cleantech News and Analysis «. Earth2tech.com
- Silver Spring Networks: The Cisco of Smart Grid?: Cleantech News and Analysis
- Utility Perspective: Why Partner With Google PowerMeter?: Cleantech News and Analysis «. Earth2tech.com
- E-Commerce News: Deals: Utility Companies Plug In to Google PowerMeter. Ecommercetimes.com
- U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Modern Grid Initiative,

- F.R. Yu, P. Zhang, W. Xiao, and P. Choudhury, "Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources," IEEE Network,
- Yilu Liu, Lamine Mili, Jaime De La Ree, Reynaldo Francisco Nuqui, Reynaldo Francisco Nuqui "State Estimation and Voltage Security Monitoring Using Synchronized Phasor Measurement". Research paper from work sponsored by American Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (PDF) (Virginia Polytechnic Institute and State University). ""Simulations and field experiences suggest that PMUs can revolutionize the way power systems are monitored and controlled.""
- Patrick Mazza. Powering Up the Smart Grid: A Northwest Initiative for Job Creation, Energy Security, and Clean, Affordable Electricity. (doc). Climate Solutions.
- Wide Area Protection System for Stability (PDF). Nanjing Nari-Relays Electric Co., Ltd.. Examples are given of two events, one stabilizing the system after a fault on a 1 gigawatt HVDC feed, with response timed in milliseconds.
- Zhao, Jinquan; Huang, Wenying; Fang, Zhaoxiong; Chen, Feng; Li, Kewen; Deng, Yong On-Line Voltage Stability Monitoring and Control (VSMC) System in Fujian power grid. "2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting". Proceedings, Power Engineering Society General Meeting,
- Klimstra, Jakob; Hotakainen, Markus. Smart Power Generation. Helsinki: Avain Publishers.
- Toomas Hõbemägi, Baltic Business News
- Electric Power Research Institute, IntelliGrid Program
- U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory
- U.S. Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, "Grid 2030" A National Vision for Electricity's Second 100 Years,
- U.S. Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, "National Electric Delivery Technologies Roadmap"
- U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability; GridWise Program fact sheet; and GridWise Alliance.
- U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Gridworks
- Paul Bourguine; David Chavalarias; Edith Perrier; Frederic Amblard; Francois Arlabosse; Pierre Auger; Jean-Bernard Baillon; Olivier Barreteau et al. (2009). "French Roadmap for complex Systems 2008–2009".
- 1 Protection Systems that verify and supervise themselves, Pelqim Spahiu, Ian R. Evans – IEEE ISGT Innovative Smart Grid Technologies Europe 2011
- 2 IED based Protection & Control equipment with Non-Standard primary system arrangements – An approach to application, Pelqim Spahiu, Namita Uppal – 10th IET International Conference on DPSP in Manchester,
- Giovanni Filatrella; Arne Hejde Nielsen; Niels Falsig Pedersen (2008). "Analysis of a power grid using the Kuramoto-like model". European Physical
- Florian Dorfler; Francesco Bullo (2009). "Synchronization and Transient Stability in Power Networks and Non-Uniform Kuramoto Oscillators".

- David Lusseau (2003). "The emergent properties of a dolphin social network". Proceedings of the Royal Society of London
- Olaf Stenull; Hans-Karl Janssen (2001). "Nonlinear random resistor diode networks and fractal dimensions of directed percolation clusters".
- Werbos (2006). "Using Adaptive Dynamic Programming to Understand and Replicate Brain Intelligence: the Next Level Design".
- Claire Christensen; Reka Albert (2006). "Using graph concepts to understand the organization of complex systems".
- Vito Latora; Massimo Marchiori (2002). "Economic Small-World Behavior in Weighted Networks". European Physical Journal
- Vito Latora; Massimo Marchiori (2002). "The Architecture of Complex Systems".
- Miao He; Sugumar Murugesan; Junshan Zhang (2010). "Multiple Timescale Dispatch and Scheduling for Stochastic Reliability in Smart Grids with Wind Generation Integration"
- Barreiro; Julijana Gjorgjieva; Fred Rieke; Eric Shea-Brown (2010). "When are feedforward microcircuits well-modeled by maximum entropy methods?".
- Jianxin Chen; Zhengfeng Ji; Mary Beth Ruskai; Bei Zeng; Duanlu Zhou (2010). "Principle of Maximum Entropy and Ground Spaces of Local Hamiltonians".
- Sahand Haji Ali Ahmad; Mingyan Liu; Yunnan Wu (2009). "Congestion games with resource reuse and applications in spectrum sharing".
- Sahand Ahmad; Cem Tekin; Mingyan Liu; Richard Southwell; Jianwei Huang (2010). "Spectrum Sharing as Spatial Congestion Games".
- "Report: Smart Grid Market Could Double in Four Years". Zpryme Smart Grid Market.
- [D. Kannberg]; M. C. Kintner-Meyer, D. P. Chassin, R. G. Pratt, J. G. DeSteele, L. A. Schienbein, S. G. Hauser, W. M. Warwick (). GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System (PDF). Pacific Northwest National Laboratory under contract with the United States Department of Energy.
- Smart Grid and Renewable Energy Monitoring Systems, SpeakSolar.org
- "U.S. Infrastructure: Smart Grid". Renewing America. Council on Foreign Relations.
- Gorman, Siobahn. "Electricity Grid in U.S. Penetrated by Spies". Wall Street Journal.
- James Grundvig . "Detecting Power Theft by Sensors and the Cloud: Awesense Smart System for the Grid" (html). Huffington Post (Huffington Post):
- "Building for the future: Interview with Andres Carvallo, CIO — Austin Energy Utility". Next Generation Power and Energy (GDS Publishing Ltd....)
- Betsy Loeff. "AMI Anatomy: Core Technologies in Advanced Metering". Ultrimetrix Newsletter (Automatic Meter Reading Association (Utilimetrix)).
- Betsy Loeff, Demanding standards: Hydro One aims to leverage AMI via interoperability, PennWell Corporation
- "E-Energy Project Model City Mannheim". MVV Energie. 2011
- SA Government
- Évora InovCity - Smart Energy Living
- Portuguese Smart City
- E-Energy: Startseite. E-energy.de.

- Massachusetts rejects utility's prepayment plan for low income customers, The Boston Globe,
- Smart Energy Collective. Smartenergycollective.nl.
- Enbysk, Liz . "China Smart Grid Playbook: Should we steal a page or two?". SmartGridNews.
- John, Jeff . "Open Source Smart Grid Goes to China, Courtesy of Honeywell". GigaOm.
- Lundin, Barbara. "Honeywell builds on smart grid success in England". Fierce SmartGrid.
- "Honeywell and Southern California Edison Team up to Curb Electricity Demand". The Wall Street Journal.
- John, Jeff. "Honeywell's OpenADR Plans for SoCal Edison". Greentechgrid.
- Richman, Gerald. "Smart Grid: The Devil Is In the Details". New America Foundation.
- John, Jeff. "Balancing Hawaiian Wind Power with Demand Response". GreenTechMedia.
- IEEE Standards Association. "2030-2011 IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads". IEEE Smart Grid.
- John, Jeff . "Open Source Smart Grid Goes to China, Courtesy of Honeywell". GigaOm.
- Cisco Outlines Strategy for Highly Secure, 'Smart Grid' Infrastructure -> Cisco News. Newsroom.cisco.com.
- DS2 Blog: Why the Smart Grid must be based on IP standards. Blog.ds2.es
- IEEE P2030 Official Website
- IEEE, conference drive smart grids. Eetimes.com.
- Commerce Secretary Unveils Plan for Smart Grid Interoperability. Nist.gov.
- SGIP Catalog of Standards
- Jorge L. Contreras, "Gridlock or Greased Lightning: Intellectual Property, Government Involvement and the Smart Grid" (presented at American Intellectual Property Law Assn. (AIPLA) 2011 Annual Meeting (Oct. 2011, Washington D.C.)